
















4.2 Blaupause 10: Elektrifizierung der Fernwärmeerzeugung

Blaupause											
Zielgruppen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Energieversorger (Fernwärme) ■ Industrieunternehmen mit Wärmeerzeugung ■ Netzbetreiber 										
Ausgangslage und Problemstellung	<p>Fern- und Nahwärmenetze werden in der Regel aus Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung und/oder gegebenenfalls aus Kesseln mit fossilen Brennstoffen versorgt. Letztere kommen häufig zum Einsatz, wenn KWK-Anlagen im Rahmen von EinsMan abgeregelt werden. Der Primärenergiebedarf bei der Verbrennung lässt sich nur bedingt und begrenzt auf erneuerbare Energieträger (Biomasse/Biogas, synthetische Brennstoffe) umstellen. Darüber hinaus besitzt der Wärmesektor eine inhärente Flexibilität, die heute kaum für den Stromsektor nutzbar ist.</p>										
Lösungsansatz	<p>Die (teilweise) Elektrifizierung der Wärmeerzeugung bietet sich an. Die strombasierte Wärmeerzeugung kann so in Zeiten überschüssigen EE-Stroms verlagert werden.</p> <p>Erfolgsfaktoren für den Lösungsansatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Lokales, regelmäßiges Stromüberangebot, das die Abregelung von Erzeugungsanlagen (BHKW oder Windkraftanlagen) bedingt, deren Strom direkt in die PtH-Anlage gespeist werden kann ■ Anreize vom Strommarkt, d. h. günstige (negative) Preise am Spotmarkt oder attraktive Preise für Regenergie ■ Eine redundante Auslegung gewährt die Sicherheit der Wärmeversorgung (BHKW, Brennkessel) ■ Wärmespeicher können die Flexibilität des Fernwärmesystems weiter erhöhen 										
Einordnung der Blaupause	<table border="1"> <tr> <td>Haushalte</td> <td>GHD</td> <td>Industrie</td> <td>Energie</td> </tr> <tr> <td>Flexibilisierung</td> <td>Sektorkopplung</td> <td colspan="2">Erzeugung</td> </tr> </table>	Haushalte	GHD	Industrie	Energie	Flexibilisierung	Sektorkopplung	Erzeugung			
Haushalte	GHD	Industrie	Energie								
Flexibilisierung	Sektorkopplung	Erzeugung									
Technologiereifegrad	<p>1 2 3 4 5 6 7 8 9</p> <p>TRL: Technologie (Elektrodenkessel und Heizelemente) ausgereift und kommerziell verfügbar</p>										
Eingeflossene SINTEG-Aktivitäten	<table border="0"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>■ E-Kessel Völklingen</td> <td></td> <td>■ PtH Fernwärme Tarp ■ PtH Fernwärme Karoline ■ PtH Schwarzenbeck</td> <td>■ Power-to-Fernwärme ■ Regionalkraftwerk Uckermark</td> </tr> </table>							■ E-Kessel Völklingen		■ PtH Fernwärme Tarp ■ PtH Fernwärme Karoline ■ PtH Schwarzenbeck	■ Power-to-Fernwärme ■ Regionalkraftwerk Uckermark
											
	■ E-Kessel Völklingen		■ PtH Fernwärme Tarp ■ PtH Fernwärme Karoline ■ PtH Schwarzenbeck	■ Power-to-Fernwärme ■ Regionalkraftwerk Uckermark							
Innovationsgehalt	<p>PtH findet in Deutschland derzeit wenig Einsatz, während sie in Dänemark, wo die Sektorkopplung bereits weiter vorangeschritten ist, großflächig genutzt wird und entsprechend erprobt ist. In WindNODE wurde die größte Anlage ihrer Art in Europa errichtet (120 MW Elektrodenkessel). Die Vermeidung von Abregelungen im Zusammenhang mit EinsMan wurde demonstriert.</p>										
Bedingungen für Übertragbarkeit und Skalierbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> ■ PtH-Anlagen (Elektrodenkessel, Speicher mit Heizstäben oder Durchlauferhitzer) integrierbar in die Wärmeversorgungsinfrastruktur (Hydraulik) ■ Entsprechende elektrische Anschlussleistung verfügbar 										

Fern- und Nahwärmenetze werden in der Regel aus Anlagen mit KWK und/oder gegebenenfalls aus Kesseln mit fossilen Brennstoffen versorgt. Letztere kommen häufig zum Einsatz, wenn KWK-Anlagen im Rahmen von EinsMan abgeregelt werden. Der Primärenergiebedarf bei der Verbrennung lässt sich nur bedingt und begrenzt auf erneuerbare Energieträger (Biomasse/Biogas, synthetische Brennstoffe) umstellen. Darüber hinaus besitzt der Wärmesektor eine inhärente Flexibilität, die heute kaum für den Stromsektor nutzbar ist. Die (teilweise)

Elektrifizierung der Wärmeerzeugung bietet sich an. Die strombasierte Wärmeerzeugung kann so in Zeiten überschüssigen EE-Stroms verlagert werden.

Die Stadtwerke Flensburg betreiben ein BHKW mit 800 kW elektrischer und 850 kW thermischer Leistung, das vom vorgelagerten Verteilnetzbetreiber häufig im Rahmen von Einspeisemanagement abgeregelt werden muss. Die Wärmeerzeugung zur Versorgung der Fernwärmekunden wurde in der Vergangenheit dann durch einen Heizölkessel sichergestellt. Der Kessel wurde im Rahmen von NEW 4.0 durch einen Elektrodenkessel mit 800 kW elektrischer Leistungsaufnahme bzw. Wärmeerzeugung ersetzt. Wenn das BHKW vollständig abzuregeln ist, wird es auf halbe Last heruntergefahren und der Elektrodenkessel nimmt den erzeugten Strom direkt auf und übernimmt die halbe Wärmeerzeugung. In Zeiten starken Wärmebedarfs im Winter wird das BHKW im Falle von Einspeisemanagement gar nicht heruntergefahren und der Elektrodenkessel nimmt bei voller Last die gesamte elektrische Leistung des BHKW auf und verdoppelt die Wärmeerzeugung.

Der Betrieb des Elektrodenkessels erfolgte überwiegend in einem Automatikmodus über die Leittechnik. Hierfür wurden umfangreiche Steuerungs- und Automatisierungsbausteine entwickelt und in Betrieb gesetzt. Der Grundbetrieb setzt ein Einspeisemanagementsignal voraus und den simultanen Betrieb des BHKW. Dieser BHKW-Betrieb ist vorgegeben, da andernfalls ein elektrischer Bezug aus dem vorgelagerten Stromnetz erfolgen würde. Sobald das Einspeisemanagement-Signal vom Netzbetreiber angekommen ist, wird bei vorliegenden Freigabebedingungen sofort der Elektrodenkessel gestartet. Der Start erfolgt innerhalb von einer Minute.

Die Anlage nahm sowohl an Feldtests der NEW 4.0 ENKO-Plattform (siehe Synthesefeld 2) als auch an einem Test mit der EnergiePlattform von HAMBURG ENERGIE teil. Dabei wurde die Möglichkeit einer Flexibilitätsbereitstellung sowie eines schnellen regionalen Intraday-Handels getestet. Im Falle von ENKO haben die Stadtwerke Flensburg am Vortag eine E-Mail mit den gewünschten Herabregelungszeiträumen für die 24 Stunden des Folgetages erhalten und diese in der Leitwarte mit Hilfe eines manuellen Timers umgesetzt. Im Falle der EnergiePlattform wurde über eine Browsermaske der Stromhandel abgeschlossen und anschließend der geänderte Fahrplan an die Schaltwarte manuell übermittelt. In beiden Fällen hat der Schaltmeister den Elektrodenkessel in den manuellen Betrieb versetzt und die entsprechende Laständerung vorgenommen.

Im Rahmen des Verbundkraftwerks Uckermark in WindNODE hat der Nahwärmeversorger Enertrag einen Wärmespeicher mit einer Million Liter Wasser und Heizstäben mit 2 MW Leistung errichtet. Die Gesamtkapazität beträgt 38 MWh. Der Durchlauferhitzer mit 100 Metallstäben ist über einen Transformator und ein 20 kV-Mittelspannungskabel direkt mit einem 800 Meter entfernten Windpark verbunden. Die Anlage wird gänzlich mit andernfalls abzuregelnder Leistung der nahegelegenen 17 Windkraftanlagen mit insgesamt 30 MW Leistung gespeist. Das Abregelsignal des Netzbetreibers führt zur Aktivierung der Heizstäbe. Das Einspeisemanagement erfolgt mehrmals monatlich. Die Aufheizung des Wasserspeichers auf bis zu 95 °C binnen Stunden genügt, um 50 Häuser in dem Ort Nechlin bis zu zwei Wochen lang mit Wärme zu versorgen. Die maximale Ausspeicherleistung in das Nahwärmenetz beträgt 300 kW. Der jährliche Heizbedarf von 700 MWh wird durch 1 % der örtlichen Winderzeugung gedeckt.

Vattenfall Wärme hat an verschiedenen Standorten in Berlin zwei kleine Elektrokessel mit je 6,5 kW Leistung im Rahmen von WindNODE errichtet, einen weiteren Elektrokessel mit 5 MW

und schließlich drei Elektrodenkessel mit je 40 MW. Letztere stellen mit insgesamt 120 MW die größte Anlage dieser Art in Europa dar. Die Kapazität genügt, um im Sommer 360.000 Haushalte mit Warmwasser zu versorgen und im Winter 36.000 Haushalte zu heizen. Die Inbetriebnahme der Großanlage am 380 kV-Übertragungsnetz benötigt eine Vorlaufzeit von 15 Minuten, in der konventionelle Wärmeerzeugungsanlagen ihre Leistung reduzieren. Die kleineren PtH-Anlagen haben deutlich schnellere Reaktionszeiten von 10 Sekunden. Die marktdienliche Kommunikation zwischen Netzbetreiber und Anlagenbetreiber war leicht zu koordinieren, die Präqualifikationen wurden erbracht und es wurden Gebote auf der WindNO-DE-Flexibilitätsplattform abgegeben. Eine Analyse von Strom- und Gaspreisen hat gezeigt, dass während insgesamt 610 Stunden eines Jahres, also 7 % der Zeit, die strombasierte Wärmeerzeugung wirtschaftlich ist.

HanseWerk Natur hat an einem BHKW-Standort im Rahmen von NEW 4.0 einen Elektrodenkessel mit 216 kW Leistung errichtet und für die Teilnahme am Regelenergiemarkt präqualifiziert. Neben dem Neubau eines Elektrodenkessels brachte die HanseWerk Natur ihre vier bereits bestehenden PtH-Anlagen mit 1,8 MW elektrischer Leistung in das Projekt NEW 4.0 mit ein. Zudem wurden zusätzliche Flexibilisierungsmöglichkeiten zur Kopplung des Wärme- und Strommarkts und zur Vergrößerung der Erzeugungsflexibilität eines bestehenden BHKW-Anlagenpools mit vorhandenen Wärmespeichern des Energieversorgers getestet.

Die bisherigen Regelungslogiken der bestehenden BHKW-PtH-Kombinationen waren weitestgehend auf die Regelleistungserbringung abgestellt mit einem beschränkten Nutzen als Flexibilitätsoption. Im Projekt wurde ein übergeordneter Anlagenfahrplan zur Anlagensteuerung etabliert. Dieser Anlagenfahrplan beinhaltet einen für die jeweils ausgewählte Betriebsstrategie optimalen Einsatz der verschiedenen Wärmeerzeuger unter Berücksichtigung unterschiedlicher Prognoseparameter wie Wärmebedarfe und Preissignale. Neben der Befähigung der Anlagen zur Regelenergieerbringung wurde die Anlagensteuerung zu einer automatisierten, marktdienlichen Fahrplanbewirtschaftung befähigt, die ebenfalls eine Bewirtschaftung von Netzengpässen ermöglicht.

Aufbauend auf einem entwickelten Kommunikations- und Vermarktungskonzept wurden ein BHKW und eine angeschlossene PtH-Anlage mit entsprechenden Fahrplanmodulen ausgerüstet und in eine neu geschaffene Ebene im virtuellen Kraftwerk der HanseWerk Natur integriert. Die Maßnahmen ermöglichen neben einem strommarktorientierten Betrieb ebenfalls die Teilnahme am Intraday-Handel. Nach der erfolgreichen Testphase wurden diese und weitere Anlagen in den Regelbetrieb für den strommarktorientierten Betrieb überführt.

Die PtH-Anlagen nahmen an Feldtests der NEW 4.0 ENKO-Plattform teil und ihre Flexibilitätspotenziale wurden mehrfach erfolgreich abgerufen. Die Voraussetzung für eine vollautomatische Bewirtschaftung über eine Flexibilitätsplattform wurde somit geschaffen. Insgesamt wurde mit der automatisierten Bewirtschaftung der BHKW-PtH-Kombinationen durch eingesetzte Prognosesoftware sowie Regelungstechnik die Grundlage geschaffen, PtH-Anlagen sowohl im aktuellen Regulierungsrahmen in Kombination mit einem BHKW sowie auch als eigenständige Anlagen zur Unterstützung der Integration von erneuerbaren Energien einzusetzen.

Im Rahmen von NEW 4.0 hat die Wärme Hamburg GmbH mit einem Investitionsaufwand von rund 6 Mio. Euro einen Elektrodenkessel mit einer Leistung von 45 MW in das Hamburger Fernwärmesystem eingebunden. Die Anlage kann stündlich bis zu 900.000 Liter Wasser auf bis zu 133 °C erhitzen und umwälzen und so 13.500 Wohneinheiten mit Wärme versorgen. Die Anlage benötigt eine 10-minütige Vorlaufzeit und kann anschließend innerhalb von 30

Sekunden bestimmte Sollleistungswerte erreichen. Der elektrische Anschluss befindet sich auf der 110 kV-Verteilnetzebene. Der flexible Elektrodenkessel wurde über Kommunikationsschnittstellen und Steuerungsprozesse an die ENKO-Plattform von NEW 4.0 angebunden. Zwei Feldtests verliefen erfolgreich, sodass Angebote und Zuschläge über die erarbeitete Kommunikationskette mit der ENKO-Plattform kommuniziert und umgesetzt werden konnten. Angebote erfolgten als Eingabe manueller Fahrpläne in 15-Minuten-Auflösung. Der Ab-ruf bzw. Zuschlag wurde zentral per E-Mail von der Plattform erteilt.

In demselben Vorhaben wurde an anderer Stelle ein Strömungserhitzer mit einer elektrischen Leistung von 550 kW errichtet, um ein Nahwärmenetz zu versorgen. Die Heizelemente sind an das Niederspannungsdrehstromnetz angeschlossen. Die Anlage nahm ebenfalls erfolgreich an den Feldtests mit der Flexibilitätsplattform von NEW 4.0 teil.

Das Energieversorgungsunternehmen STEAG hat an einem Kraftwerksstandort im Saarland, an dem es verschiedene KWK-Anlagen betreibt, im Rahmen von DESIGNETZ einen Elektrodenkessel mit einer Leistung von 20 MW installiert. Die Anlage ist stromseitig an das Mittelspannungsnetz angebunden, erzeugt mit einem Wirkungsgrad von 99,5 % Wärme und speist wärmeseitig in Reihe mit den anderen Wärmeerzeugern über eine Zentralstation in die örtliche „Fernwärmeschiene Saar“ ein. Die PtH-Anlage bietet Flexibilität, indem sie auf ein externes Signal hin die Nachfrageleistung erhöhen oder absenken kann. In DESIGNETZ wird eine Erhöhung der Nachfrage im Bereich zwischen 0,5 und 20 MW als Flexibilitätsband zur Verfügung gestellt. Bei ausreichender Wärmeabnahme ist die Dauer der Leistungsaufnahme theoretisch unbegrenzt verfügbar. Die Leistung des Elektrodenkessels kann im Betrieb je Sekunde um 650 kW geändert werden und die Erbringung von Primärregelleistung ist möglich.

Die Intelligenz der Anlage besteht aus einer eigenständigen Anlagensteuerung vor Ort, einer externen Prognoseerstellung und der Verarbeitung der zusammenlaufenden Daten in der STEAG-Lastzentrale in Essen. Diese übernimmt zentral Datenaufnahme, grafische Auswertung, intelligente Steuerung, Anlagen- und Prozessüberwachung, Fahrplanempfang und automatisierte Fahrplanumsetzung. Zur Berechnung des Fahrplans und des Anlageneinsatzes werden bei der Prognoseermittlung der abgeschätzte Wärmebedarf, Wetterdaten, historische Daten (Standardkurven aus jahrelanger Betriebsführung), sonstige geplante Vermarktungen und die technische Verfügbarkeit verarbeitet. Basierend auf dieser Prognose erfolgt die Vermarktung anhand der Grenzkosten der Anlage. Die Lastzentrale überwacht kontinuierlich die Anlagenzustände und die Steuerung und übernimmt zentral die Verantwortung zur Vermarktung am Regelleistungsmarkt. Die lokale Anlagensteuerung führt eine eigenständige Betriebsführung innerhalb von Betriebsgrenzwerten (unter anderem Volumenstrom, Temperatur, Druck, etc.) durch. Zudem besitzt die Anlage eine eigene Primärregelleistungs-Regelung, damit innerhalb der durch die Lastzentrale vorgegebenen Bandbreiten eine schnelle Bereitstellung möglich ist.